

慣性センサによる下肢3次元関節角度計測における 実用的校正法に関する基礎研究

著者	安藤 拓磨
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	182-183
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123493

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

慣性センサによる下肢 3 次元関節角度計測における実用的校正法に関する 基礎研究

安藤 拓磨

指導教員：渡邊 高志

A Basic Study on Practical Calibration Method for Measurement of Three-dimensional Movements of Lower Limb Using Inertial Sensors

Takuma ANDO

Supervisor: Takashi WATANABE

Gait rehabilitation is considered to be necessary for osteoarthritis in order to reduce joint load in daily walking. It is considered that measuring the three-dimensional lower limb joint angles during walking can provide information for preventing or delaying the progress of osteoarthritis. However, the difference between the sensor coordinate system and the body coordinate system causes error in three-dimensional angle measurement. Therefore, the four calibration methods (Ebihara, Palermo, Kong, and a modified method of Kong in this study) were evaluated in measurement of lower limb three-dimensional joint angles in movements of rigid body model and straight walking with five healthy subjects. The results showed that the calibration method of Palermo only reduced significantly the number of trials that showed negative values of correlation coefficient in estimation of three-dimensional joint angles. It is considered that the calibration method of Palermo used the acceleration vector measured in the standing posture, which was close to the posture at the beginning of measurement of the straight walking.

1. はじめに

変形性膝関節症のリハビリテーションには、歩行中の 3 次元関節角度計測が有効であるという報告がある¹⁾。また、一般の病院や家庭などの臨床現場への適応性の観点から、慣性センサを用いた歩行計測の研究がすすめられている。しかし、慣性センサを用いた 3 次元運動の計測精度には、慣性センサの装着状態に依存してセンサ座標系と身体座標系の間の不一致である装着誤差が大きく影響することが知られている。装着状況の影響の校正方法に関しては複数の研究があるが、評価指標や用いたセンサの種類が統一されておらず、臨床に適した方法を判別することは難しいと言える。そこで本研究では、これまでに提案された校正方法の中から、特に臨床での歩行計測に適していると考えられる方法を抽出し、剛体リンクモデルの運動および歩行の計測を行い、方法間で共通の評価による検証を行った。

2. 装着誤差の校正方法について

これまでに提案された装着誤差の校正方法は、(1) 特徴点や剛体を用いる方法、(2) 関節の自由度の低さを利用する方法、(3) 予め規定した姿勢や運動を利用する方法、の 3 種類に大別することができる。本研究では、(3)の方法が最も実用に適していると考え、その中でも歩行中の下肢を対象にした海老原ら²⁾、Palermoら³⁾、Kongら⁴⁾の方法に加え、Kongらの方法を改良した

Kong-安藤の方法の 4 つの方法を評価した。

3. 剛体リンクモデルによる校正精度評価実験

3 次元動作解析装置 (OPTOTRAK, Northern Digital Inc.) と慣性センサ (ERi) により、下肢を模した剛体リンクモデルによる 3 次元動作計測を行った。計測時間は 30sec に設定し、剛体の下腿部を大腿部に対して約 30deg 屈曲させる間に、約 35deg の回旋運動を数回行う運動を行った。下腿部に取り付けた慣性センサに対して、矢状面、前額面、水平面を組み合わせた 7 種類の装着誤差を意図的に与え、それぞれの装着誤差において各 3 試行の計測を行った。

全試行について、2 つの装置で計測した 3 次元膝関節角度の RMSE を表 1 に示す。海老原ら、Palermo ら、Kong-安藤の方法については、装着誤差が無い場合と同様に、どの 3 次元角度についても RMSE の平均が 2deg 以下であったことから、校正を適切に行うことができた、と言える。一方、Kong らの方法については、他の校正方法に比べて、特に内外転角度の RMSE が大きく、また SD も大きいことから、装着誤差を校正できなかった試行が存在したことが確認できた。これは、Kong らの方法において、矢状面運動中の加速度データに対する主成分分析による矢状面推定精度にばらつきがあり、本来の矢状面を適切に推定することができなかった試行が存在したためと考えられる。

表 1 3 次元膝関節角度 RMSE [deg]

校正方法	屈曲伸展	内外転	内外旋
海老原	0.71±0.20	1.02±0.30	0.93±0.31
Palermo	0.71±0.20	0.59±0.19	1.01±0.33
Kong-安藤	1.31±0.84	1.18±0.95	1.07±0.46
Kong	2.14±2.00	5.47±3.28	1.82±0.67

4. 歩行中の下肢 3 次元関節角度計測による校正精度評価実験

健常男性 5 名による直線歩行中の股関節、膝関節の 3 次元関節角度計測精度評価実験を行った。3 次元動作解析装置(MA-3000, ANIMA)のマーカと慣性センサ(ERi)を同一の剛体板に取り付け、被験者の体幹部、両大腿部、両下腿部の正面にそれぞれ装着した。また、慣性センサの装着位置は、剛体板に対して通常通り取り付ける場合と、セグメントの長軸周りに回旋させて取り付けた場合の 2 種類で実施した。各被験者が約 3m の直線歩行路を自然な速さで歩行した時の運動を 5 回計測した。

通常位置に慣性センサを取り付けた場合について、2 つの装置で計測した全被験者の股関節、膝関節の 3 次元関節角度の相関係数の平均値を表 2 に示す。校正なしの場合であっても、屈曲伸展角度や内外旋角度の計測精度は比較的良好ことが確認できた。一方、内外転角度の相関係数の平均値は悪く、また SD も大きいことから、被験者や関節間での計測精度のばらつきが大きいことが確認できた。校正の結果、Palermo らの方法のみが平均として内外転角度の相関係数を改善させることができた。一方で、海老原ら、Kong-安藤の方法については、校正により精度が悪化した。

Kong-安藤の方法は、下肢の各セグメントを進行方向の前後に振る動作によって矢状面を規定するが、その動作を正確に行うことが難しかったため、本来の矢状面とは異なる面を推定してしまった結果、校正により精度が悪化したと考えられる。また、静止姿勢を校正に用いる海老原らや Palermo らの方法に比べて、動作を校正に用いる Kong-安藤の方法の精度が著しく悪いことから、静止姿勢による校正の方が確実性は高いと考えられる。

表 2 全被験者の股関節と膝関節の 3 次元角度の相関係数の平均値

校正方法	屈曲伸展	内外転	内外旋
校正なし	0.98±0.03	0.48±0.44	0.76±0.11
海老原	0.98±0.03	0.43±0.44	0.76±0.18
Palermo(A)	0.98±0.03	0.50±0.34	0.78±0.11
Palermo(B)	0.98±0.03	0.55±0.35	0.77±0.12
Kong-安藤	0.98±0.03	0.16±0.41	0.77±0.11

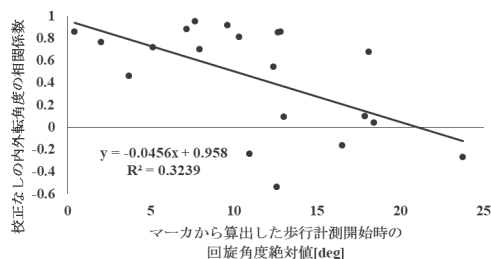


図 1 歩行計測開始時の回旋角度に対する内外転角度の相関係数の関係

図 1 に、慣性センサを通常位置に取り付けた場合について、歩行計測開始時の各関節の回旋角度に対する縦軸にその試行の内外転角度の相関係数の関係を示す。弱い相関関係が見られることから、歩行計測開始時に慣性センサが異なる方向を向いていると、加速度データが方位情報を検知できないため、水平面内に異なる座標系が構築され、計測誤差が増大したと考えられる。海老原らの方法では、装着誤差を求める際に各セグメントを鉛直方向に合わせる必要があるため、歩行開始時の姿勢と校正姿勢の間で、センサ間の回旋角度が異なっていたと考えられる。その結果、異なる角度で校正が行われるため、校正後の精度が悪化したと考えられる。Palermo らの校正方法では、静止立位姿勢を校正に用いるため、歩行計測開始時と校正時の姿勢が類似しており、適切に校正を行うことができた試行が多かったと考えられる。

5. まとめ

これまでに提案された下肢を対象とした慣性センサの校正方法と本研究で改良した方法について、剛体リンクモデルと健常者の直線歩行について評価実験を行った。その結果、Palermo らの校正方法が最も良い結果を示した。その要因としては、校正用に計測した姿勢が、歩行計測開始時の姿勢に近かったためであると考えられる。

文献

- 1) F. Stief, H. Bohm, C. U. Dussa, C. Multerer, A. Schwirtz, A. B. Imhoff, and L. Doderlein, Knee, vol. 21, no. 3, pp. 688–693, 2014.
- 2) 海老原 匠, 渡邊 高志, 電子情報通信学会技術研究報告 (ME とバイオサイバネティックス研究会), 信学技報, vol. 116, no. 312, pp. 29–34, 2016.
- 3) E. Palermo, S. Rossi, F. Marini, F. Patane, and P. Cappa, Meas. J. Int. Meas. Confed., vol. 52, no. 1, pp. 145–155, 2014.
- 4) W. Kong, S. Sessa, M. Zecca, and A. Takanishi, Sensors, vol. 16, no. 12, pp. 1–21, 2016.